



**APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO EM TRÊS
MICRORREGIÕES DA AMAZÔNIA MARANHENSE**

*APPLICATION OF THE UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION IN THREE
MICROREGIONS OF MARANHENSE AMAZON*

Raymara Fernanda Dutra Martins

Universidade Federal do Maranhão – UFMA, Brasil

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8709-3681>

E-mail: joalisonbrito2018@gmail.com

Marcelino Silva Farias Filho

Universidade Federal do Maranhão – UFMA, Brasil

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6153-5293>

E-mail: joalisonbrito2018@gmail.com

Milton César Costa Campos

Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Brasil

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8183-7069>

E-mail: mcesarsolos@gmail.com

Joálison de Brito Silva

Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Brasil

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2128-9408>

E-mail: joalisonbrito2018@gmail.com

Submetido: 8 ago. 2023.

Aprovado: 23 out. 2023.

Publicado: 25 out. 2023.

E-mail para correspondência:

mcesarsolos@gmail.com

Resumo: A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) é amplamente usada para estimar a erosão do solo nos Estados Unidos e em outros países influentes. Desse modo, a erodibilidade representa a susceptibilidade intrínseca do solo ao processo de erosão, representada pelo valor K na (EUPS). No Maranhão, as atividades humanas têm contribuído fortemente para a degradação e até mesmo perdas de solos, como resultado da expansão das fronteiras agrícolas relacionadas a exploração madeireira, mineração, produção de carvão e a atividade agropecuária. Esta pesquisa tem por objetivo a avaliação das perdas de solos através da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo para as Ordens de solos representativas em três microrregiões da Amazonia Maranhense. Foram selecionadas áreas específicas, aplicada a fórmula sob diferentes finalidades de avaliação. Obtendo os valores da perda de solo por unidade de área e tempo (A), fator de erosividade da chuva (R), fator de erodibilidade do solo (K), fatores topográficos que expressam o comprimento (em metros) e a declividade do terreno (LS), fator que expressa uso e manejo do solo e cultura (C) e, por último, o fator que expressa a prática conservacionista do solo (P).

Palavras-chave: Erosão do Solo. Estudo dos Solos. Susceptibilidade.



Abstract: The Universal Soil Loss Equation (EUPS) is widely used to estimate soil erosion in the United States and other influential countries. Thus, erodibility represents the intrinsic susceptibility of the soil to the erosion process, represented by the K na value (EUPS). In Maranhão, human activities have strongly contributed to the degradation and even loss of soil, as a result of the expansion of agricultural frontiers related to logging, mining, charcoal production and agricultural activity. The objective of this research is to evaluate soil losses through the application of the Universal Soil Loss Equation to representative soil orders in three microregions of the Maranhão Amazon. Specific areas were selected, and the formula was applied under different evaluation purposes. Obtaining the values of soil loss per unit of area and time (A), rainfall erosivity factor (R), soil erodibility factor (K), topographic factors that express the length (in meters) and slope of the terrain (LS), a factor that expresses the use and management of soil and culture (C) and, finally, the factor that expresses soil conservation practice (P).

Keywords: Soil erosion. Study of Soils. Susceptibility.

Introdução

A erosão hídrica do solo constitui um dos principais problemas ambientais provocados pelo homem, devido, fundamentalmente, às atividades de preparo e manejo aliados a substituição da vegetação natural pelas espécies cultivadas. Por isso, a erosão hídrica é a maior causa de degradação das terras e perdas de solo em escala global, principalmente devido aos significativos impactos negativos causados aos componentes orgânicos e aos atributos físicos e químicos dos solos ^(1,2). Do mesmo modo, essa erosão também afeta áreas urbanas, devido à falta de planejamento e de obras que contenham e canalizem fluxos de água que podem desencadear o referido processo. Como consequência, esse processo promove perdas de importantes serviços ecossistêmicos a partir de perdas de nutrientes, declínio da produtividade agrícola e redução da produção de alimentos, tornando-se um dos maiores responsáveis pelo agravamento de problemas de ordem social e econômica, aumento da insegurança alimentar e acarretando em perdas, por vezes irreversíveis, da biodiversidade ⁽³⁾.

A maioria dos estudos sobre erosão tem buscado quantificar os diferentes fatores determinantes no processo erosivo a fim de estimar às perdas de solo em determinada área com vistas a selecionar práticas conservacionistas que reduzam o avanço do processo. No entanto, os métodos diretos são dispendiosos e muito demorados, o que justifica a adoção de métodos indiretos de predição da erosão ⁽⁴⁾. Para isso que, a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), apresentada por Wischmeier *et al.* ⁽⁵⁾, tem sido o modelo mais empregado devido



englobar um conjunto de fatores diretamente relacionados com as etapas dos processos erosivo (desprendimento, transporte e deposição de partículas), tais como a erosividade da chuva (R), a erodibilidade do solo (K), o comprimento da vertente (L), declividade da vertente (S), o uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P) ⁽⁶⁾. Esse modelo tem sido extensivamente aplicado para identificar o padrão de distribuição e as predições dos riscos globais de perdas de solos em cenários futuros sob diferentes sistemas de uso da terra e condições climáticas ^(7, 8).

A erodibilidade do solo (fator K) é definida como a quantidade de solo perdida por ação da precipitação ou escoamento dentro de uma unidade de pesquisa padrão ⁽⁹⁾. Esse parâmetro depende das propriedades físicas (textura, umidade, densidade do solo) e químicas dos solos (dispersão das partículas, força iônica) ^(10, 11) e, por isso, é considerada um parâmetro chave para subsidiar políticas públicas e conscientizar agricultores e pesquisadores à respeito da importante necessidade de utilização de práticas de conservação do solo para impedir ou atenuar os efeitos deletérios dos processos erosivos ⁽¹²⁾.

As equações que permitem avaliar o fator K são desenvolvidas comumente a partir de regressões múltiplas, que por sua vez são elaboradas a partir de atributos físicos e químicos do solo, em caso de apresentarem forte correlação, essas regressões podem fornecer o fator erodibilidade do solo (fator K) para emprego na EUPS. Embora essas equações não reflitam obrigatoriamente relações de causa e efeito, elas podem ser empregadas desde que forneçam valores próximos aos medidos diretamente ⁽¹³⁾. O mais conhecido método indireto para a estimativa do fator K é a representação gráfica (nomograma), no qual combina atributos físicos dos solos com teores de matéria orgânica ⁽⁴⁾. À semelhança, com inúmeros outros estudos realizados no território nacional também utilizaram atributos físicos dos solos, em especial diferentes frações de areia, aliados aos teores de matéria orgânica para determinar de forma indireta a erodibilidade dos solos ^(14, 15, 16).

Devido ao desmatamento descontrolado nos últimos anos, o estado do Maranhão, está enfraquecido da presença de núcleos florestais com tamanho mínimo para garantir práticas sustentáveis de manejo florestal ⁽¹⁷⁾. Segundo esses autores, as novas políticas em nível estadual vão ao encontro da conservação das florestas primárias e secundárias, pois o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) permite a redução da proteção florestal e a Política Estadual de Florestas reforça retrocessos da legislação federal. Nesse cenário, vem sendo constatada também nas microrregiões de Rosário, Imperatriz e na Baixada Maranhense uma série de impactos ambientais, principalmente no que se refere a desmatamentos e queimadas



como resultado da expansão das fronteiras agrícolas relacionadas a exploração madeireira, mineração, produção de carvão e a atividade agropecuária⁽¹⁸⁾. Tais práticas podem acarretar em alterações nas propriedades físicas e químicas dos solos, permitindo a instalação de processos erosivos e, conseqüentemente, aumentando às perdas de solos. Esse cenário é favorecido pela ocorrência de solos constituídos por atributos que aumentam à susceptibilidade dos solos da região à degradação, tais como mudança textural abrupta, caráter argilúvico e coesão^(19, 20).

Logo, o desenvolvimento de estudos detalhados sobre perdas de solos nessa microregião assume extrema relevância por subsidiar tomadas de decisões voltadas para a conservação desses ambientes naturalmente mais frágeis e atualmente submetidos a práticas não sustentáveis de utilização da terra. Ainda, estudos dessa natureza, as quais buscam entender o fenômeno da erosão em ordens de solos representativas seguramente permitem a sistematização de informações precisas sobre os atributos e propriedades de solos que fomentem estudos futuros voltados para o desenvolvimento de práticas de manejo e uso sustentável adequado para áreas degradadas no território nacional.

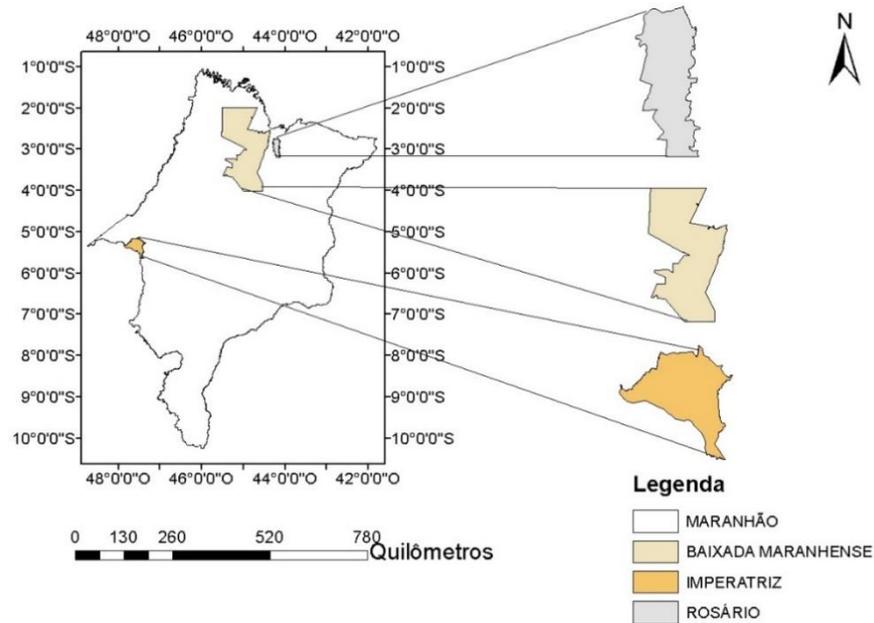
Desse modo, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as perdas de solos utilizando a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) em ordens de solos representativos de três microrregiões da Amazônia Maranhense.

Metodologia

O estudo foi executado nas microrregiões de Rosário, Baixada Maranhense (Norte Maranhense) e Imperatriz (Oeste Maranhense), localizadas no estado do Maranhão (Figura 1). Nas microrregiões de Rosário e Baixada Maranhense predominam os Domínios Geomorfológicos (DG) (i) Superfície Sublitorânea de Bacabal, caracterizada por vastas superfícies de aplainamento com topografia plana a suavemente ondulada (subordinamente colinas baixas e suaves), com predomínio de Plintossolos Argilúvicos Distróficos, Plintossolos Pétricos Concrecionários e Argissolos Vermelho-Amarelos e, (ii) Golfão e Baixada Maranhense, onde ocorrem planícies fluviolacustres e fluviomarinhas constituídas por sedimentos de idade Holocênica, com ocorrência de Gleissolos Háplicos, Sállicos ou Tiomórficos. A microrregião de Imperatriz está inserida no DG Depressão do Médio Vale do Rio São Francisco, representada por vasta superfície de aplainamento com relevo residual na

forma de mesetas e morro-testemunhos, cuja a variabilidade geológica e climática contribuiu para uma ampla variação da cobertura pedológica (Latosolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Plintossolos Háplicos, Neossolos Litólicos e Quartzarênicos) (21,22).

Figura 1: Mapa de localização da região de estudo



Fonte: Autores (2023).

Os solos foram descritos e amostrados conforme critérios constantes em Santos *et al.* (23). As análises foram realizadas de acordo com Embrapa (24) e os solos foram classificados conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (25). Foram avaliados 52 perfis de solo em trincheiras, totalizando sete ordens distribuídas em nove municípios maranhenses.

Tabela 1: Distribuição dos perfis de solos analisados por microrregiões maranhenses

Microrregião	Classe de solos	Quantidade de Perfis
Rosário	Espodossolo Ferrilúvico	5
	Plintossolo Argilúvico	6
Baixada maranhense	Plintossolo Argilúvico	5
	Planossolo Háplico	5
	Nitossolo Háplico	4
	Cambissolo Háplico	5



Imperatriz	Latossolo Vermelho Amarelo	5
	Latossolo Amarelo	9
	Latossolo Vermelho	3
	Argissolo Vermelho Amarelo	5

Fonte: Dados do ZEE Amazônia (2019, adaptado pelos autores).

Para o cálculo da erosividade da chuva (fator R) foram utilizados os valores anuais de 2000 mm para as microrregiões de Rosário e Baixada Maranhense. Para Imperatriz, foram utilizados os valores anuais de 2000 e 850 mm dada a ocorrência nessa microrregião de áreas com clima úmido e seco, respectivamente ⁽²⁶⁾. A erodibilidade dos solos (fator K) foi calculada segundo equação constante em Denardin ⁽¹⁴⁾, definida por:

$$K = 0,0061 P + 0,0083 MOS - 0,0012 AI - 0,0004 PART$$

Em que:

K = fator de erodibilidade do solo, em MJ.ha⁻¹.mm.ha⁻¹;

P = Permeabilidade codificada por Wischmeier (1971);

MOS = Matéria orgânica do solo (%);

AI = Óxidos de Al (%);

PART = Fração areia (2-0,05 mm) (%)

Para determinação do fator topográfico (LS) foi utilizada a equação estabelecida por ⁽²⁷⁾, definida por:

$$LS = 0,00984 C^{0,63} \cdot D^{1,18}$$

Em que:

LS: fator topográfico;

C = comprimento da rampa (m);

D = grau do declive (%).

Os solos analisados foram submetidos a três simulações distintas de manejo para fins de comparação das perdas com os limites toleráveis. Os fatores C utilizados foram solo desnudo (1,0000), cultura do milho (0,1980) e pastagem (0,0100) ⁽²⁸⁾, no qual correspondem respectivamente aos fatores P plantio morro abaixo (1,00) para o solo desnudo e semeadura



em contorno (0,64) para cultura do milho e pastagem. Os fatores P e C utilizados foram aqueles determinados por Galindo *et al.* ⁽²⁹⁾.

A partir dos dados supracitados, foi calculada a EUPS, a partir da seguinte equação:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Em que:

A = perda de solo por unidade de área e tempo ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$)

R = fator erosividade da chuva (em $MJ \cdot ha^{-1} \cdot mm \cdot ha^{-1}$);

K = fator erodibilidade do solo ($MJ \cdot ha^{-1} \cdot mm \cdot ha^{-1}$);

LS = fatores topográficos relacionados como o comprimento (m) e a declividade (%) da vertente;

C = fator que expressa o uso e manejo do solo e cultura (adimensional);

P = fator que expressa a prática conservacionista do solo (adimensional).

Resultados e Discussões

Às perdas de solos nos diferentes cenários avaliados para a microrregião de Rosário são apresentados na Tabela 2. O fator erodibilidade obtido para os Espodossolos Ferrilúvicos (ES) ($0,4430 t h MJ^{-1} mm^{-1}$) foi semelhante aos encontrados para os Plintossolos Argilúvicos (FT; $0,4383 t h MJ^{-1} mm^{-1}$). Segundo a interpretação de erodibilidade de Carvalho ⁽³⁰⁾ convertida para o sistema internacional de unidades de Foster et al. (1981) ⁽³¹⁾, ambos os solos apresentam erodibilidade considerada alta ($> 0,03058 t h MJ^{-1} mm^{-1}$). Esses resultados são superiores aos também elevados valores obtidos para Espodossolos do estado de São Paulo ⁽³²⁾. Erodibilidade baixa/muito baixa ($< 0,01529 t h MJ^{-1} mm^{-1}$) foi obtida para Espodossolos da mesorregião da Mata paraibana ⁽³³⁾ e no Recôncavo Sul da Bahia ⁽³⁴⁾.

O fator topográfico (LS) foi sensivelmente menor nos FT (ES: 0,0020; FT: 0,0009), provavelmente relacionado à sua ocorrência em setores aplainados da paisagem, onde as vertentes apresentam comprimentos e declives menos acentuados ⁽¹⁹⁾. Às perdas de solos foram semelhantes entre os solos em todos os cenários avaliados, sendo mais elevada nas simulações com o solo desnudo (ES: 0,6112; FT: 0,6008; $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) e sob monocultura de



milho (ES: 0,3207; FT:0,3193; t.ha⁻¹.ano⁻¹). De acordo com a proposta de Riquier⁽³⁵⁾, em todos os cenários as perdas de solos são consideradas nula a pequena (< 10 t.ha⁻¹.ano⁻¹). Essa semelhança nas perdas de solos nos ES e FT deve ser creditada a ocorrência de processos pedogenéticos específicos que invariavelmente contribuem para a textura arenosa e conduzem a baixos teores de MOS nos ES, dada a eluviação de Al e/ou Fe complexadas com matéria orgânica com concentração residual de quartzo nos Espodosolos, e os teores consideráveis de óxidos de Al nos Plintossolos Argilúvicos (caráter alumínico), resultado de intensa dessilicatização seguida de alitização⁽¹⁹⁾.

Tabela 2: Fator erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), topografia da vertente (L: comprimento de rampa; S: declividade), uso e manejo do solo (C), práticas conservacionistas (P: a); b) e; c)) e perdas de solo (A) para solos representativos da Microrregião de Rosário, estado do Maranhão, Brasil

Classe de solos	R mm.ano ⁻¹	K t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹	LS (m) (%)	C ⁽¹⁾	P ⁽²⁾	A (Média) t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹
Espodosolo Ferrilúvico (ES)	2000	0,4430	0,0020	^a 1,0000	^d 1,00	0,6112
				^b 0,1980	^e 0,64	0,3207
				^c 0,0100	^e 0,64	0,2737
Plintossolo Argilúvico (FT)	2000	0,4383	0,0009	1,0000	1,00	0,6098
				0,1980	0,64	0,3193
				0,0100	0,64	0,2723

¹ Fator C: a) solo desnudo; b) cultura do milho; c) pastagem; ² Fator P: d) plantio morro abaixo; e) semeadura em contorno

Fonte: Autores (2023).

As perdas de solos nos diferentes cenários avaliados para a microrregião da Baixada Maranhense são apresentadas na Tabela 3. A erodibilidade dos Planossolos Háplicos (SX) (0,4390 t h MJ⁻¹ mm⁻¹) é maior quando comparado com os Plintossolos Argilúvicos (FT) e Nitossolos Háplicos (NX) (0,3671 t h MJ⁻¹ mm⁻¹); no entanto, todos os solos apresentam erodibilidade considerada elevada (> 0,03058 t h MJ⁻¹ mm⁻¹). Os valores de erodibilidade dos SX e NT avaliados são superiores a baixa e média erodibilidade encontrada para Planossolos e Nitossolos, respectivamente, do estado de São Paulo⁽³²⁾. O fator K dos SX e NX também é superior a baixa erodibilidade encontrada para Planossolos do Recôncavo Sul da Bahia⁽³⁴⁾ e para Nitossolos Háplicos determinada em condições de campo em Santa Catarina⁽³⁶⁾ e Nitossolos Vermelhos em bacia de captação do rio Barro Preto - PR⁽³⁷⁾. Plintossolos e Nitossolos do estado do Mato Grosso do Sul também apresentaram baixa erodibilidade⁽³⁸⁾.



Os valores elevados de erodibilidade obtidos para o Nitossolo deve estar principalmente relacionado com seus elevados conteúdos de argila ao longo de todo o perfil, no qual resulta da ação da ferralitização conjugada com pronunciada hidrólise, originando filossilicatos 1:1 (caulinita) e/ou 2:1 (vermiculita/esmectita HE). Nesses solos as partículas primárias, principalmente grãos de quartzo, estão envolvidos num plasma denso e contínuo consonante com macroestrutura em blocos subangulares e prismática, reflexo da mineralogia caulínica, que aumenta a erodibilidade desses solos e os torna mais sujeitos à erosão laminar ⁽³⁹⁾.

A erodibilidade dos Plintossolos está relacionada com sua moderada a imperfeitamente drenagem dada ao aumento abrupto de argila em profundidade, o que reduz a permeabilidade desses solos e aumenta sua susceptibilidade à erosão. Por fim, os SX apresentam considerável incremento de argila em profundidade (mudança textural abrupta), tanto por acentuada desargilização em superfície e translocação de argila (argiluviação) e/ou formação de argila in situ oriundo do intemperismo de minerais facilmente intemperizáveis (horizonte B plânico). Essa considerável diferença de textura entre o horizonte A ou E para o Bt restringe a permeabilidade em subsuperfície, aumentando as perdas de solos. Em adição, muitos desses Planossolos apresentam caráter sódico (Planossolos Nátricos) ⁽²⁰⁾, onde os elevados teores de Na⁺ favorecem a dispersão das argilas, cuja resultante é a perda da estabilidade estrutural com conseqüente aumento da erodibilidade dos solos.

Em todos os cenários avaliados, as perdas de solos são consideradas nula a pequena (< 10 t.ha⁻¹.ano⁻¹). Tais perdas também são semelhantes em todos os solos quando consideramos condições de solo desnudo e plantio morro abaixo (FT: 0,6112; SX: 0,6098; NX: 0,6112; t.ha⁻¹.ano⁻¹). Entretanto, ao considerarmos o cenário de cultivo de milho com sistema de semeadura em contorno os SX apresentam maiores perdas de solo (0,1860; t.ha⁻¹.ano⁻¹). Considerando a erosividade da chuva e o fator topográfico semelhante, nossos resultados confirmam que a erodibilidade dos Planossolos é um fator crucial para às perdas de solos. Dada a predominante ocorrência dos Planossolos em fundos de vales, em superfícies mais rebaixadas, entulhadas por deposição fluvial, e nas rampas de colúvio, em cotas mais baixas e com abundante disponibilidade de água ⁽²⁰⁾, nossos resultados indicam que perdas de solos nesses segmentos da paisagem podem acarretar em importantes problemas ambientais e econômicos, tais como assoreamento e eutrofização de corpos hídricos, perda da fertilidade dos solos e declínio da produtividade das culturas de subsistência.



Tabela 3: Fator erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), topografia da vertente (L: comprimento de rampa; S: declividade), uso e manejo do solo (C), práticas conservacionistas (P: a); b) e; c)) e perdas de solo (A) para solos representativos da Microrregião da Baixada Maranhense, estado do Maranhão, Brasil

Classe de solos	R mm.ano ⁻¹	K t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹	LS (m) (%)	C ⁽¹⁾	P ⁽²⁾	A (Média) t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹
Plintossolo Argilúvico (FT)	2000	0,3671	0,0020	^a 1,0000	^d 1,00	0,6112
				^b 0,1980	^e 0,64	0,1860
				^c 0,0100	^e 0,64	0,2737
Planossolo Háplico (SX)	2000	0,4390	0,0020	1,0000	1,00	0,6098
				0,1980	0,64	0,3193
				0,0100	0,64	0,2723
Nitossolo Háplico (NX)	2000	0,3671	0,0020	1,0000	1,00	0,6112
				0,1980	0,64	0,1860
				0,0100	0,64	0,2737

¹ Fator C: a) solo desnudo; b) cultura do milho; c) pastagem; ² Fator P: d) plantio morro abaixo; e) semeadura em contorno.

Fonte: Autores (2023).

As perdas de solos nos diferentes cenários avaliados para a microrregião de Imperatriz são apresentadas na Tabela 4. Os maiores valores de erodibilidade foram obtidos para os Cambissolos (CX) (0,4390 t h MJ⁻¹ mm⁻¹), seguido do Latossolo Amarelo (LA) (0,3570 t h MJ⁻¹ mm⁻¹) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) (0,3559 t h MJ⁻¹ mm⁻¹). Independente dos processos de formação e dos atributos físicos e químicos associados, todos os solos apresentam erodibilidade considerada elevada (> 0,03058 t h MJ⁻¹ mm⁻¹). Entretanto, em relação às perdas de solos, esses resultados são pouco expressivos diante de diante dos estudos da água na agricultura e pecuária, com estimativas de perda de solo de 175 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para estradas periurbana ⁽⁴⁰⁾; em relação aos valores considerados muito baixos de perdas de solo (19 t.ha⁻¹.ano⁻¹) ⁽⁴¹⁾ e de tolerância de perdas de solo (6,8 t.ha⁻¹.ano⁻¹) estimadas para o estado de São Paulo, respectivamente de, e também para a tolerância média de perdas de solo, de conforme Fujjara ⁽⁴²⁾. O resultado desses valores também é inferior à predição em áreas agricultadas com milho e pastagem, de acordo com Martinell *et al.* ⁽⁴³⁾, os quais obtiveram uma estimativa superior a 30 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

A erodibilidade encontrada para os CX é superior aos encontrados para Cambissolos de diferentes regiões do território nacional ^(32, 38, 44, 45). Esses solos são caracterizados pelo incipiente desenvolvimento pedogenético, onde a atuação menos expressiva do intemperismo permite a permanência de minerais facilmente intemperizáveis nos solos, que por sua vez, contribuem para o aumento dos teores de silte. Dada a considerável participação de silte na textura desses solos ⁽²⁰⁾, os mesmo possuem menor propensão a formação de agregados

mais estáveis dada a pouca reatividade dessas frações, o que potencializa a capacidade de desprendimento das partículas e, por conseguinte, o transporte das partículas por escorrimento lateral, ou ainda, aumenta a possibilidade de entupimento de poros de drenagem, reduzindo a capacidade de infiltração dos Cambissolos e aumentando sua susceptibilidade à erosão ⁽³⁸⁾.

A erodibilidade encontrada para os PVA é superior ao encontrado para Argissolos Vermelho-Amarelos de distintos geoambientes do Brasil ^(34, 38) Os processos que culminam com a remoção da argila em superfície (p. ex., elutriação e argiluviação) e incremento em subsuperfície – B textural (iluviação de argila, formação de argila *in situ*) permitem um comportamento hídrico bimodal nesses solos, com reduzida infiltração de água e menor permeabilidade em profundidade, o que aumenta a erodibilidade desses solos. Nesses solos também foi encontrado o maior fator topográfico (0,0067), dada sua ampla ocorrência em divisores rebaixados onde predominam terrenos modelados em colinas com grau variável de dissecação ⁽²⁰⁾, o que contribui sobremaneira para o aumento das perdas de solo nos PVA. Esse cenário de perdas de solos é agravado quando esses fatores são conjugados com solo desnudo e plantio morro abaixo (2,0262 t.ha⁻¹.ano⁻¹) e, mesmo quando utilizados com monocultura no sistema semeadura em contorno (0,2568 t.ha⁻¹.ano⁻¹). Isso indica que nos PVA, que apresentam naturalmente elevada erodibilidade, são ainda mais necessárias práticas conservacionistas que considerem a topografia do terreno a fim de se evitar perdas consideráveis de solos.

Tabela 4: Aspectos da Equação Universal de Perda de Solos inseridos à Microrregião de Imperatriz

Classe de solos	R mm.ano ⁻¹	K t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹	LS (m) (%)	C ⁽¹⁾	P ⁽²⁾	A (Média) t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹
Cambissolo Háplico (CX)	2000	0,4390	0,0020	^a 1,0000	^d 1,00	0,6098
				^b 0,1980	^e 0,64	0,3193
				^c 0,0100	^e 0,64	0,2723
Latossolo Amarelo (LA)	850	0,3570	0,0027	1,0000	1,00	0,8193
				0,1980	0,64	0,1038
				0,0100	0,64	0,0052
Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	850	0,1993	0,0047	1,0000	1,00	0,7962
				0,1980	0,64	0,1008
				0,0100	0,64	0,0050
Latossolo Vermelho (LV)	850	0,1217	0,0020	1,0000	1,00	0,2068
				0,1980	0,64	0,0262
				0,0100	0,64	0,0013
Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)	850	0,3559	0,0067	1,0000	1,00	2,0268
				0,1980	0,64	0,2568
				0,0100	0,64	0,0129

¹ Fator C: a) solo desnudo; b) cultura do milho; c) pastagem; ² Fator P: d) plantio morro abaixo; e) semeadura em contorno.



Considerações Finais

A ocorrência de diferentes tipos de solos com elevada erodibilidade confirma que os processos pedogenéticos específicos estão diretamente envolvidos nas perdas de solos em distintas microrregiões do estado do Maranhão.

As perdas de solos em todas as microrregiões são consideradas nulas a pequena ($< 10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$), obtendo-se às maiores taxa de perdas no cenário solo desnudo com plantio morro abaixo. Tal fato é agravado nas áreas com ocorrência de Argissolo Vermelho-Amarelo, dada sua elevada erodibilidade e ocorrência em topografia movimentada.

As menores perdas de solo em todas as microrregiões foram obtidas para o cenário de utilização com pastagem com práticas conservacionistas de semeadura em contorno nos Latossolos. Isso aponta que o manejo adequado em superfícies geomórficas mais estáveis (topos de baixos platôs) deve favorecer a infiltração de água em solos com elevada permeabilidade em detrimento do escoamento superficial.

O emprego da EUPS permitiu determinar de forma indireta às perdas de solo e o fator preponderante para esse processo em variadas microrregiões do Maranhão. Logo, essa ferramenta, pode ser utilizada em outras localidades e em diferentes tipos de solo afim de se aumentar o volume de dados (ampliação de banco de dados) sobre processos erosivos no território nacional.

Referências

1. Tang Q, Xu Y, Bennett SJ, Li Y. Assessment of soil erosion using RUSLE and GIS: a case study of the Yangou watershed in the Loess Plateau, China. *Environ Earth Sci*. 2015;73:1715–1724. doi:10.1007/s12665-014-3523-z.
2. Aslam B, Maqsoom A, Salah Alaloul W, Ali Musarat M, Jabbar T, Zafar A. Soil erosion susceptibility mapping using a GIS-based multi-criteria decision approach: Case of district Chitral, Pakistan. *Ain Shams Eng J*. 2021;12:1637–1649. doi:10.1016/j.asej.2020.09.015.
3. Phinzi K, Ngetar NS, Ebhuoma O. Soil erosion risk assessment in the Umzintlava catchment (T32E), Eastern Cape, South Africa, using RUSLE and random forest algorithm. *South Afr Geogr J*. 2021;103:139–162. doi:10.1080/03736245.2020.1716838.
4. Machado RL. Características físicas de chuvas e erosividade no estado do rio de janeiro e erodibilidade de Argissolo vermelho-amarelo em Seropédica-RJ [dissertação]. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2011. Disponível em: <https://tede.ufrjr.br/jspui/bitstream/jspui/2670/4/2011%20%20roriz%20luciano%20machado.pdf>.



5. Wischmeier WH, Johnson CB, Cross BV. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J Soil Water Conserv.* 1971;26:189-193.
6. Zhao J, Wang Z, Dong Y, Yang Z, Govers G. How soil erosion and runoff are related to land use, topography and annual precipitation: insights from a meta-analysis of erosion plots in China. *Sci Total Environ.* 2022;802. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149665.
7. Borrelli P, Robinson DA, Panagos P, et al. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Proc Natl Acad Sci USA.* 2020;117(36):21994e22001. doi:10.1073/pnas.2001403117.
8. Guerra CA, Rosa IMD, Valentini E, et al. Global vulnerability of soil ecosystems to erosion. *Landscape Ecology.* 2020;35(4):823e842. doi:10.1038/s41467-017-02142-7.
9. Wischmeier WH, Smith DD. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation planning. *USDA Agriculture Handbook.* US Government Printing Office, Washington, D.C. 1965.
10. Romero CC, Stroosnijder L, Baigorria GA. Interrill and rill erodibility in the northern Andean Highlands. *Catena.* 2007;70:105–113. doi:10.1016/j.catena.2006.07.005.
11. Wang B, Zheng F, Römken MJM, Darboux F. Soil erodibility for water erosion: a perspective and Chinese experiences. *Geomorphology.* 2013;187:1-10. doi:10.1016/j.geomorph.2013.01.018.
12. Ojo AO, Nwosu NJ, Oshunsanya SO, Ayantao-Ojo VI, Aladele SE. Impacts of soil conservation techniques on soil erodibility on an Alfisol. *Heliyon.* 2023;9:e13768. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e13768.
13. Volk LBS, Cogo NP. & Streck EV. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. *R. Bras. Ci. Solo.* 2004; 28:763-774.
14. Denardin JE. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. [dissertação de doutorado]. Piracicaba: Universidade de São Paulo; 1990.
15. Sousa FRC & Paula DP. Análise de perda de solo por erosão na bacia hidrográfica do Rio Coreaú (Ceará-Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia: Ceará-Brasil,* 20(3), 1-17, 1 jul. 2019.
16. Silva EC. Estimativa da perda de solo na bacia hidrográfica do córrego do sapo, Rio Verde - GO. *Dissertação de Mestrado.* 2023.
17. Silva Junior CHL, Calentano D, Rousseau GX, de Moura EG, Varga E van D, Martinez C, Martins MB. *Land Use Policy.* 2020;97:107806. doi:10.1016/j.landusepol.2020.104806.
18. Imesc. Sumário executivo do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão – ZEE. Etapa Bioma Amazônico. São Luís: Imesc; 2019.



19. Maranhão. Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Maranhão. Embrapa-SNLCS/SUDENE-DRN. 1986;v. 1. 543p.
20. Dantas ME, Shinzato E, Bandeira ICN, de Souza LV, Renck JFC. Compartimentação Geomorfológica. In: Geodiversidade do Estado do Maranhão: Programa. 2013. Aquí tienes las referencias adicionales en formato Vancouver:
21. Torres MAN. Geografia física do Maranhão. Universidade Federal do Maranhão-UFMA; 2016.
22. Embrapa. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª ed. Brasília: Embrapa; 2018.
23. Santos RD, Santos HG, Ker JC, Anjos LHC, Shimizu SH. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 7ª ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2015. 102p.
24. Embrapa. Manual de métodos de análise de solo. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa; 2017. 574p.
25. Santos HG, et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª ed. Brasília, DF: Embrapa; 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs>>. Acesso em: julho de 2021.
26. Martins WL, Blanco CJC, Melo AMQ. Potencial erosivo das chuvas nos estados do Maranhão e Pará via análise da distribuição espacial da erosividade. Geoambiente On-line Revista Eletrônica do Curso de Geografia Graduação e Pós Graduação. Jataí-GO | n 36 | jan-abr/2020. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/geoambiente>>. Acesso em: junho de 2021.
27. Guedes FC, Viegas JA, Aguiar MCP. Aplicação da equação universal de perda de solo (USLE) na Bacia Hidrográfica Urbana do Córrego Carneirinhos, na cidade de João Monlevade – MG. Research, Society and Development, 2022;11(7).
28. Benavidez R, Jacksin B, Maxel D, Norton K. A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R) USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. Hydrology and Earth System Sciences. 2018; 22: 6059–6086.
29. Demarchi JC, Zimback CRL. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. Energia na Agricultura, Botucatu. 2014;29(2): 102-114.
30. Carvalho NO. Hidrossedimentologia prática. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência; 2008.
31. Foster GR, McCool DK, Renard KG, Moldenhauer WC. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI metric units. Journal of Soil and Water Conservation. 1981;36:355-359.
32. Silva AM, Alvares CA. Levantamento de informação de estruturação de um banco de dados sobre a erodibilidade de classes de solos do estado de São Paulo. Gociências. 2005;24(1):33-41.



33. Dias ER, Silva RM. Estimativa do risco à erosão do solo no município de Lucena–Paraíba. *Caminhos de Geografia*. 2015;16(54):192-204.
34. Trindade LS. Estimativa de perda de solos na bacia hidrográfica do rio da Dona-BA. Monografia. Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas; 2018. 57p.
35. Perusi MC, Demarchi JC, Piroli EL, Ferreira JJ, dos Santos Galvanin EA, da Silva Fuzzo DF. Determinação do potencial natural de erosão (pne) e degradação do solo associada a rodovias no município de Ourinhos/SP. *RF [Internet]*. 2º de agosto de 2022 [citado 24º de outubro de 2023];29(54):357-86. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/8934>
36. Bertol I, Leite D, Engel FL, Cogo NP, González AP. Erodibilidade de um Nitossolo Háplico Alumínico determinada em condições de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2007;31:541-549.
37. Pasquatto MC, Tomazoni JC. Estudo do processo erosivo laminar na bacia de captação do rio Barro Preto, em Coronel Vivida – PR. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 2016;9(2):555-570.
38. Di Raimo LA, Di L, Amorim RSS, Torres GN, Bocuti ED, Couto EG. Variabilidade espacial da erodibilidade no estado de Mato Grosso, Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*. 2019;42:55-67.
39. Ferreira L, Curi N, Ferreira MM, de Lima JM, Silva MLN, Vitorino ACT. Tipos de dispersantes, formas de agitação e suas relações com a erodibilidade de solos com altos teores de ferro. *Ciência e Agrotecnologia*. 2002;26(2):342-353.
40. Back AJ. Estimativas de perdas de solo por erosão hídrica por meio da Equação Universal de Perdas de Solo. *BT [Internet]*. 4º de agosto de 2023 [citado 24º de outubro de 2023];(210). Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/BT/article/view/1714>
41. Pruski FF, org. *Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica*. Viçosa: Editora da UFV; 2009.
42. Fujihara AK. *Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento. [dissertação de mestrado]*. Piracicaba: Universidade de São Paulo; 2002.
43. Martinelli LA, Filoso S. Polluting effects of Brazil's sugar-ethanol industry. *Nature*. 2007;445(364). Disponível em: <https://doi.org/10.1038/445364c>. Acesso em: 22 fev. 2014.
44. Bertol I, Schick J, Batistela O, Leite D, Amaral AJ. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico alumínico léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2002;26:465-471.



45. Schick J, Bertol I, Cogo NP, González AP. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2014;38(6):1906-1917.



10.31072/rcf.v14i2.1356

Este é um trabalho de acesso aberto e distribuído sob os Termos da *Creative Commons Attribution License*. A licença permite o uso, a distribuição e a reprodução irrestrita, em qualquer meio, desde que creditado as fontes originais.



Open Access